

局部直立；南翼岩层倾角 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$ ，局部直立，甚至倒转。总体为不对称背斜，并被一系列北西西向、北东向断裂切割，沿断层多有温泉出露；区内断裂以近东西向为主，北东向次之，北西向零星。近东西走向断裂带与北东向断裂组成菱形格状构造格架，结点北西侧往往控制着铀矿床的定位，而走向断裂带则控制着铀矿体的产出。

在研究区内共勘获 4 个工业铀矿体，矿体埋深大且均为盲矿体，集中赋存于羊肠沟组上段 (S_{1y2}) 中下部含炭硅质灰岩层的断层附近，矿体受构造（断裂破碎带）控制明显。

研究区出露奥陶系、志留系，铀矿化产出下志留统羊肠沟组上段 (S_{1y2}) 硅质岩、灰岩中（图 2）。

2 仪器与方法

物探工作主要采用高精度磁法测量、音频大地电磁测量和地面伽马能谱测量三种技术方法。

2.1 高精度磁法测量

测量使用 G-856 型微机质子磁力仪作总场观测，点距 40m。工作人员在到达测点后，立稳探头读取数据并存储在磁力仪中。每个闭合观测单元的观测始于校正点，终于校正点。在校正点上前两次读数经日变改正后的差值小于 2nT。野外观测时每个测点采用两次读数，每次观测时探头的高度保持一致，两次读数误差要求在 2nT 之内才存储数据；数据处理时采用的数据为每个测点第一次观测的数据。

2.2 音频大地电磁测量

本次音频大地电磁测深 (AMT) 测量采用加拿大 Phoenix 公司生产的 V8 多功能电法采集系统，在 AMT 法的施测中，采用四个电极参与测量，每两个电极组成一对电偶极子，即 X-Dipole 电偶极子和 Y-Dipole 电偶极子相互垂直，极距 20m，V8 接收机放在两组电偶极子的中心，测深装置采用张量观测方式，接收电极为不极化电极。本次测量点距 40m。

2.3 地面伽马能谱测量

采用单位自主研发的能谱仪，型号为 UNI-GM512P，仪器采用基于电荷测量技术的数字信号处理技术，稳定性高、操作简单。蓝牙无线传输，PDA 控制，256、512、1 024、2 048、4 096、8 192 多道可选择。经核工业放射性勘查计量站校准和鉴定，仪器符合规定的误差标准，性能良好。本次测量点距 40m，采用点测模式。

3 成果解释

由以往的资料可以知，研究区内断裂构造围岩主要是高阻的硅灰岩与低阻的板岩或砂岩，电性差异明显。

断层的总体特征是二维板状体，向下延伸很深。相对于围岩介质的电阻率，断层可表现为低阻断层或高阻断层，决定于断层的性质、破碎带宽度、胶结程度、含水特征、岩脉侵入等特性及围岩电阻率特性。一般来说，新活动断层电阻率值较低，断层越老，胶结程度越强，电阻率值越高；断层破碎带越宽，越破碎，电阻率相对较小；地下和地表水越丰富，电阻率越小；压性断层少水，则为高阻，张性断层富

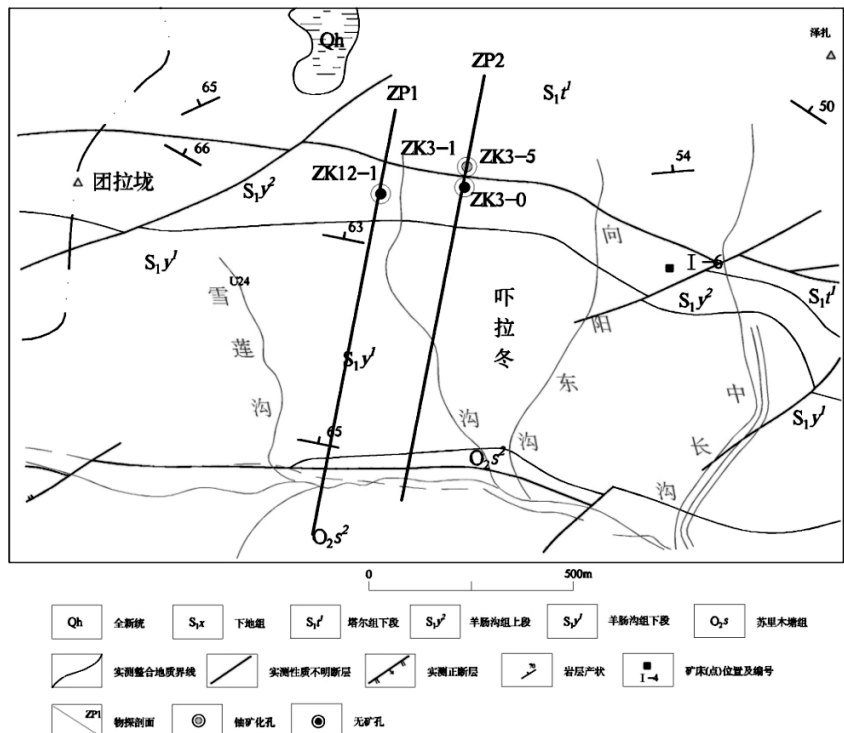


图 2 研究区地质简图

水,则为低阻;有岩脉顺断层侵入,多为高阻。因此,判断断层最直接的依据是视电阻率断面图的横向电性是否连续^[5]。也就是说,横向电性即横向的视电阻率曲线发生了较明显的下陷或上凸,使其两侧的电性差异明显,表现为一个很明显的 discontinuity。

根据研究区内地质特征描述,区内断层破碎带作为主要热液通道,铀矿化主要见于断层附近的灰黑色中厚层状含炭质硅质岩、硅灰岩中,正常的磁性及放射性异常反应呈峰值特征,而结合区内的实际情况,由于研究区大面积较厚的第四系覆盖层,回填作用就可能使得磁性及放射性异常表现为较低的特征,这就要求我们充分的结合实际情况具体分析。

3.1 ZP1 线

ZP1 线长为 2 120m,前期已施工钻孔 1 个。地表主要为第四系覆盖。综合剖面图可以看出,磁测 ΔT 异常与放射性能谱异常曲线变化不明显,视电阻率值总体呈现高低交替变化分布规律(图 3),较好的反映了地层的电性特征,分带特征明显。平距 1 500~1 600m,磁异常与能谱异常均表现相对低值,此处地表第四系覆盖,视电阻率等值线梯度变化较大且视电阻率呈现高阻、低阻相间的特征,结合已知地质资料分析,推测该处为断层构造的电性反应,

断层 F_2 延伸较深,产状陡立,断层倾角接近 90° 。根据 ZK12-1 揭示,全孔揭露地层主要有志留系下统羊肠沟组上段 (S_{1y}^2) 和羊肠沟组下段 (S_{1y}^1)。羊肠沟组上段 (S_{1y}^2) 出露于 0~683.12m,出露的岩性主要为硅质岩、灰岩、炭质板岩、硅质板岩等,根据钻孔揭露的岩性与地表出露的岩性分析,硅质岩与灰岩在深部发生相变,主要表现为硅质岩变厚,灰岩变薄;羊肠沟组下段 (S_{1y}^1) 出露于 683.12~713.71m,揭露的岩性为灰色浅变质细砂岩为主夹有薄层的含炭硅质板岩,板岩与砂岩中均具黄铁矿化。

该钻孔地质编录未发现明显的矿化或异常。

3.2 ZP2 线

ZP2 线长 2 120m,前期已施工钻孔 2 个。地表主要为第四系覆盖。视电阻率在横向上变化特征明显,其视电阻率值总体呈现高低交替变化分布规律,较好的反映了地层的电性特征,分带特征明显(图 4)。平距 1 400~1 700m,磁异常与能谱异常均呈峰值,此处地表基岩出露。视电阻率等值线梯度变化较大且

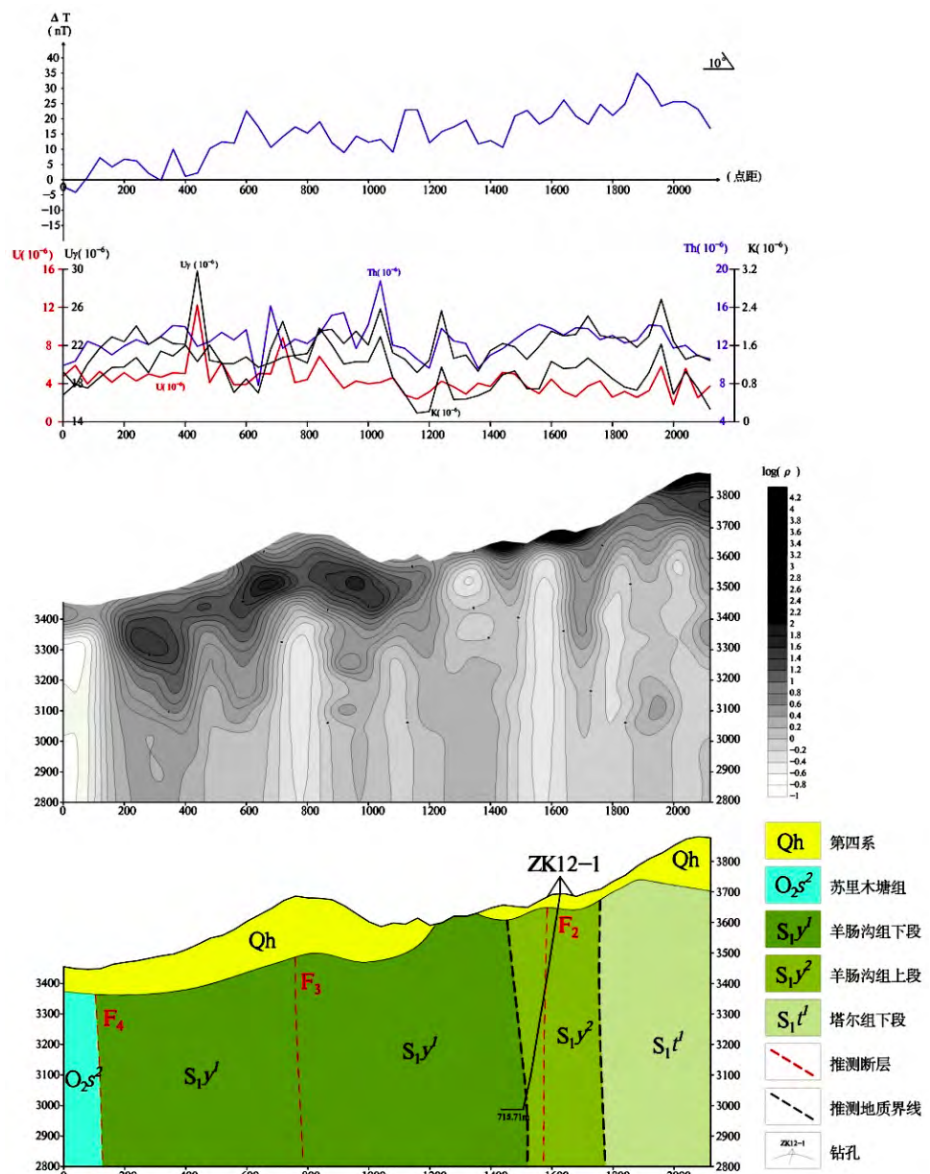


图 3 ZP1 线综合剖面及解释成果图

视电阻率呈现高阻、低阻相间的特征,结合已知地质资料分析,推测该处为断层构造的电性反应,断层 F_2 延伸较深,产状陡立,断层倾角接近 90° 。据ZK3-0揭示,全孔揭穿地层主要为羊肠沟组上段(S_{1y}^2),岩性主要为硅质岩、灰岩、板岩等,大致与电性界面发育相一致,该钻孔地质编录未发现有明显的矿化或异常。据ZK3-1孔揭示,453.62~834.35m为羊肠沟组上段(S_{1y}^2)硅质岩、硅质灰岩等, F_2 穿硅质灰岩而过,将硅质灰岩分为两部分,同时 F_2 断层破碎带(低阻带)边缘发育铀矿化,规模不大,强度较小。

4 综合分析及钻探验证

根据综合物探成果及地质资料分析,区内铀矿化(体)主要见于断层 F_2 附近的下志留统硅灰岩组合体中, F_2 附近电阻率等值线呈现近直立状展布,形态不规则,高阻之间存在低阻隔断及不延续现象,横向上可能存在岩性过渡现象。根据地表已知的出露现象及等值线深部延续形态分析,推断该分界线内部岩石以硅灰岩组合体为主。经过对区内已有的铀矿化孔进行综合统计,通过对若尔盖铀矿田已探明和控制的铀矿床(体)产出部位的研究,若尔盖铀矿矿体主要受层位、岩性和层间断裂联合控制。矿体赋存主岩性硅灰岩层上下的顺层构造控制,矿化多集中在硅灰岩层的层间构造中。

该区铀矿地质勘查首次采用了音频大地电磁测深法和高精度磁法两种普通物探方法对该区深部地层和构造进行了解,为了验证方法的可靠性和该方法对深部铀矿勘查的实用性和有效性,我们在原ZK3-1位置布置了钻探工程ZK3-5进行揭露和验证工作。

根据ZK3-5揭示,510.15~917.35m为羊肠沟组上段(S_{1y}^2)硅质岩、含炭硅质灰岩、含炭质硅质板岩等。由图3可以看出,在 F_2 断层破碎带边缘发现铀矿化,规模较大,品位较高,在 F_2 南侧又发现了工业矿体,铀矿化与工业矿体均产于硅灰岩中,这与我们的推测吻合较好,说明该方法应用在若尔盖铀矿勘查中寻找是有效的,对铀矿勘查工作具有较好的指导意义。

因此在今后的勘查工作中,应该在找矿重点区域增加普通物探工作,主要对断层 F_2 附近的硅灰岩组合体进行深部揭露,同时还应对其他断裂构造破碎带附近成矿潜力进行探查。

5 结论

1) 经过本次综合研究工作,了解到研究区内成矿规律主要受“层位—岩性—层间断裂”三要素联合

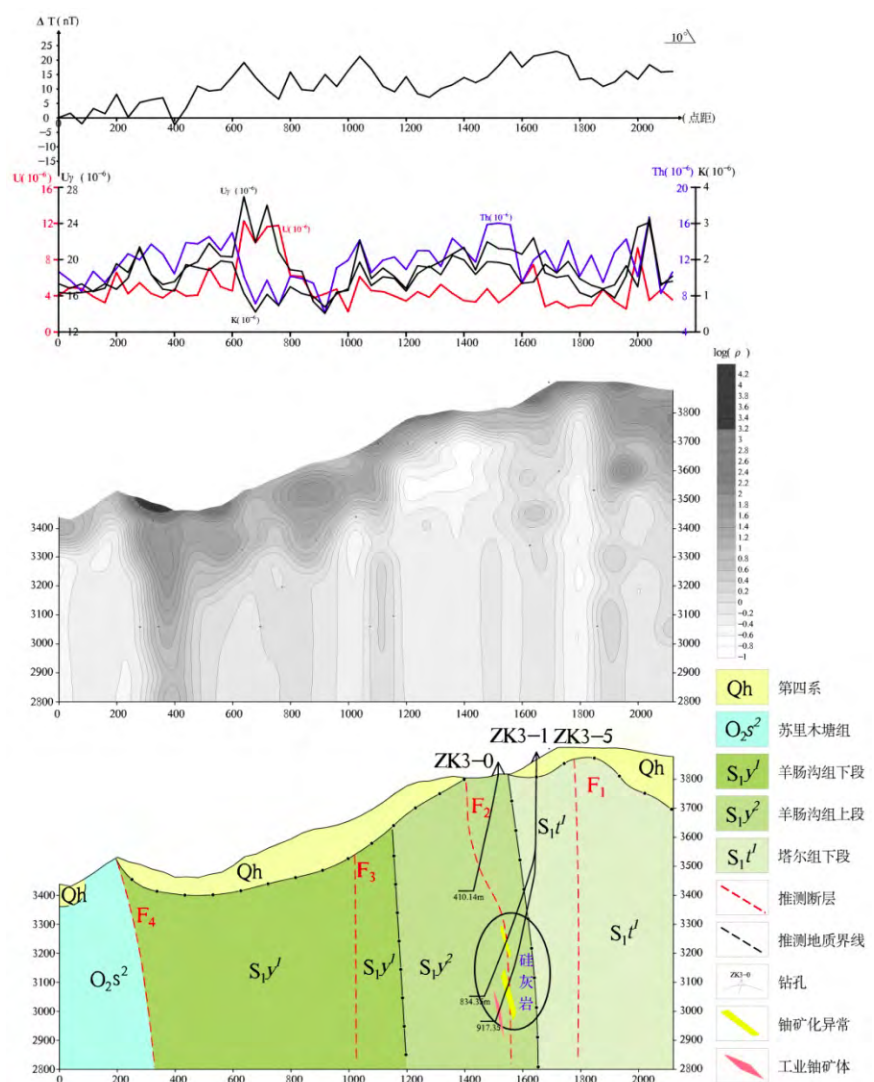


图4 ZP2线综合剖面及解释成果图

控制。

2) 结合地质资料, 针对综合物探异常进行了揭露, 找矿效果较好, 表明采用综合物探测量针对隐伏铀矿勘查具有有效、实用的特点。

3) 在进一步的工作中, 重点对断层 F₂ 附近的硅灰岩组合体进行深部揭露的同时, 还应对其他断裂构造破碎带附近成矿潜力进行探查。

参考文献:

- [1] 李庆阳. 深部铀矿直接勘查技术研究及其在若尔盖矿田的应用[D], 成都理工大学博士学位论文, 2010.
- [2] 朱文泉. 加强普通物探寻找隐伏大型铀矿[J]. 国外铀金地质, 1992, (4).
- [3] 刘祜等. 电、磁综合方法在南方硬岩型铀矿勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2011, 35(6).
- [4] 乔宝强等. 音频大地电磁测深法与高精度磁法在江西河元背地区试验研究及效果[J]. 铀矿地质, 2013, 29(2).
- [5] 王爱国, 马巍, 王大燕. 浅层直流电法探测隐伏断层可行性分析[J]. 高原地震, 2005, 17(3).

The Application of Comprehensive Geophysical Methods to the Searching for Uranium Deposit in Roigê

LI Tie-zhu LU Bao-kai YANG Yin-rong XUE Yong YUAN Xiao-long TANG Yu-xin
(Sichuan Institute of Uranium Geological Survey, Chengdu 610061)

Abstract: High-precision magnetic survey, audio magnetotelluric survey and ground gamma spectrometry are applied to uranium exploration in Roigê. Ground gamma spectrometry is used for searching for uranium anomalies, while high-precision magnetic survey and audio magnetotelluric survey are used for exploring deep structure.

Key words: comprehensive geophysical method; uranium deposit; application; Roigê

(上接第 493 页)

3.2.3 成果验证

钻孔孔位方案变更后, 施工单位进行了钻探工作, 钻至 H9、H10 异常中间范围时, 岩层较充水, 但未钻遇大规模岩溶及破碎带, 钻井工作顺利穿过碳酸盐岩发育地层, 钻至目的层。

4 结论

在页岩气勘探等深孔钻探工作中, 若目的层以浅发育较厚碳酸盐岩地层, 则采用高密度电法、瞬变电磁法、音频大地电磁法、广域电磁法等物探方法, 探测由浅到深的地质体空间展布情况, 并结合地表地质调查, 可对岩溶、暗河以及破碎带等不良地质体的发育情况进行较好的控制, 能有效规避钻探过程中可能存在的风险。

参考文献:

- [1] 李金铭. 电法勘探[Z]. 2005. [3]
- [2] 何继善. 可控源音频大地电磁法. 中南工业大学出版社, 1990

The Application of Comprehensive Geophysical Methods to the Harmful Geological Body Exploration

GU Zhi-wen JIA Jian-chao LUO Cheng-guo
(Sichuan Zhongcheng Institute of Coalfield Geophysical Engineering Co., Ltd, Chengdu 610072)

Abstract: This paper has a discussion on the application of comprehensive geophysical method to harmful geological body exploration based on the results of shale gas geophysical exploration. The results indicate that high-density electrical method, transient electromagnetic method, audiomagnetotelluric method and wide field electromagnetic method are effectively applied to the exploration of harmful geological bodies such as karst, underground river and fractured zone.

Key words: comprehensive geophysical method; harmful geological body; shale gas; exploration